

금강 하구 기수역 식물플랑크톤 군집의 생태학적 연구

신윤근*

상지대학교 환경공학과

A Ecological Study of Phytoplankton Community in the Geum River Estuary. Shin, Yoon Keun*
(Department of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea)

Abstract - After the construction of the Geum River estuary dam, we investigated the ecological property of phytoplankton community with physicochemical property in 9 stations of Geum River estuary 4 times seasonally in 2010 about the environmental changes through the change of phytoplankton. Physicochemical property seems to show eutrophication which developed from the tendency of accruing of the nutrients (those involved in intermittency of freshwater which flows from the dike and the surrounding cities), caused by the changing of tidal flow, the decreasing of the inflow of seawater after the construction of the Geum River estuary dam (dike). A total of 233 species of species composition of phytoplankton emerged, showing a highly increased result compared to that of the former research. The reason for the increase in number is considered as a phenomenon resulting from the mix of blackish and freshwater marine species in the flow of intermittency of freshwater discharge. Also, the standing crops of phytoplankton considerably increased compared to when the dike had not yet been built. Highly affected by the discharge of occasional freshwater, the diatoms of blackish water zone dominated in spring and winter, while freshwater species appeared to dominate in summer and autumn. The species diversity showed over 2.0 except in winter season. After a cluster analysis, the result showed that the Geum River estuary was influenced by runoff from cities like Gunsan, the sewage which flows from Gyeongpo River, and the intermittency of freshwater discharge from the Geum River estuary dam.

Key words: phyoplankton, ecological characteristics, freshwater discharge, water quality, dike, Geum River estuary

서론

금강하구의 경우 하구둑은 1988년 완공하였으나 1994년부터 수문을 개폐하여 방류를 시작하였는데 수문을 통해 비정기적으로 담수를 방류하면 염분이 저하

될 뿐 아니라 수중의 무기 영양염의 농도도 크게 변화하는 것으로 보고되고 있다 (Lee *et al.*, 1999; Yang *et al.*, 1999; Kim and Kang, 2002; Jeong *et al.*, 2005; Yih *et al.*, 2005). 하구둑이 건설된 이후 금강하구는 해저지형 변화는 물론 조류의 역학적 특성 변화에 의한 퇴적상의 변화 (Choi *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 2006)로 생태계의 급격한 변화를 겪고 있으며, 수질도 악화되는 것으로 나타났다 (Kim, 1998; Yang *et al.*, 1999).

식물플랑크톤은 수계생태계에서 광합성을 통해 유기물을 생산하는 생물군 가운데 가장 중요한 그룹이다

Manuscript received 5 November 2013, revised 11 December 2013,
revision accepted 16 December 2013

* Corresponding author: Tel: +82-33-730-0441, Fax: +82-33-730-0444,
E-mail: ykshin@sangji.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

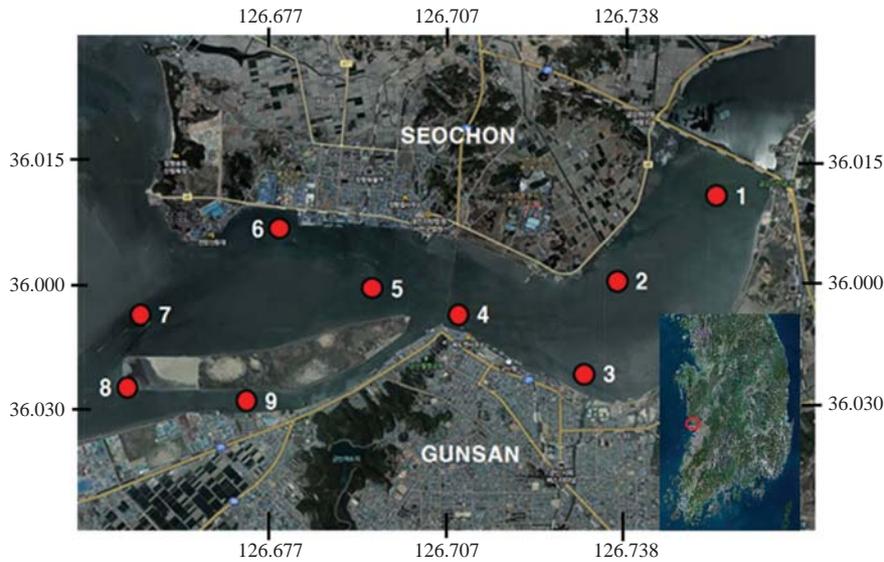


Fig. 1. Map showing the sampling sites in the Guem River estuary.

(Williams *et al.*, 2002). 특수한 곳을 제외하면, 실제로 거의 모든 수피에서 일차생산자는 식물플랑크톤과 부착조류 등으로 규정할 수 있으며, 이들은 생태계 전체의 생물 활동에 쓰이는 에너지와 물질을 근본적으로 제공하는 생물군이다 (Wetzel, 2008). 식물플랑크톤의 생물량과 생산력에 대한 정보는 어떤 수계생태계의 생산력이 결정되는 척도로서 대단히 중요하다. 식물플랑크톤 군집은 환경의 변화에 대해 빠르고 민감하게 반응하여 오염 지표성이 뛰어나며, 영양염 유입에 따른 적조 유발 조류 혹은 유독성 조류의 대발생이 일어난다 (Hellawell, 1986; Suthers and Rissik, 2009). 따라서 식물플랑크톤의 밀도와 조성 등은 어떤 수중 생태계의 구조와 기능을 파악하는데, 필수적으로 선행되어야 하는 기초 조사일 뿐만 아니라, 수계생태계에 미치는 외부의 영향을 탐색하고 평가하는 데 유용한 자료를 제공한다 (Wetzel, 2008; Suthers and Rissik, 2009).

이런 생태학적 중요성에도 불구하고 금강 하구역에 대한 연구는 금강하구언이 만들어진 이후에 이화학적 변화와 퇴적 환경의 변화에 한정하고 있다. 식물플랑크톤에 관한 연구는 매우 한정적이며, 하구언이 축조되기 전 금강 하구역을 조사한 문헌은 Shim and Yang (1982), Shim and Yoo (1985), Jeong *et al.* (1985) 등이 있다. 하구언 폐쇄 이후에는 Lee and Boo (2000), Kim *et al.* (2004), Yih *et al.* (2005) 등이 있다. 이들 조사는 금강 하구언의 식물플랑크톤을 연구한 것이 아니므로 금강하구역에서의 식물플랑크톤을 생태학적으로 연구할 목적으로 이루어진 것은 전무한 상태이다. 금강하구에서의 환경 변화

Table 1. Latitude and Longitude of sampling station in the Geum River estuary.

Station	Latitude	Longitude
1	36° 00.581'N	126° 44.833'E
2	35° 59.973'N	126° 43.893'E
3	35° 59.294'N	126° 43.596'E
4	35° 59.651'N	126° 42.524'E
5	35° 59.923'N	126° 41.789'E
6	36° 00.412'N	126° 40.876'E
7	35° 59.786'N	126° 39.666'E
8	35° 59.200'N	126° 39.544'E
9	35° 59.064'N	126° 40.587'E

를 장기적으로 모니터링하는 것은 지역의 해역 이용 계획의 수립과 관리를 위해서 필수적이므로 현재의 상태를 생태학적으로 연구하여 정밀한 자료를 축적할 필요가 있다.

따라서 본 논문은 금강하구의 환경변화를 가장 잘 나타낼 수 있는 식물플랑크톤의 군집을 분석하여 금강 하구언 건설 이후 변화하고 있는 금강 하구의 수질환경을 모니터링할 수 있는 유용한 기초 자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

금강하구에서 식물플랑크톤을 조사하기 위해 9개 정점을 선정 (Fig. 1, Table 1) 2010년 4월 22일, 7월 05일, 10월 01일, 12월 28일 총 4회 정성, 정량시료를 채집하였

고, 이화학적 수질 분석은 현장과 실험실에서 실시하였다.

수질은 수온, 염분, 전기전도도, 수소이온농도, 용존산소, 산소포화도, 탁도(TDS), 총질소, 총인, 아질산성 질소, 암모니아성 질소, 용존인, 규산염 등 총 13개 항목을 조사하였다. 시료는 van Dorn 채수기로 표층과 저층으로 구분하여 채수하였고 Ice Box로 냉동 보관된 후 실험실로 옮겨 분석하였다. 수온, 전기전도도, 수소이온농도, 용존산소, 산소포화도, 탁도는 YSI 556 MPS (YSI Inc, USA)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 영양염 분석은 Spectrophotometer (Cary 50conc, Varian)을 이용하여 각 영양염에 맞는 파장에서 흡광도값을 측정하였고, 모든 분석 과정은 수질오염공정시험방법(MOE, 2004)에 따라 실시하였다.

식물플랑크톤 정성시료의 채집은 Plankton Net를 사용하였고 포르말린으로 고정하였으며 종의 동정은 광학현미경 (Type 115, Nikon)하에서 검경하였다. 식물플랑크톤의 정량분석을 위한 시료는 van Dorn 채수기로 표층과 저층으로 구분하여 채수하였고 시료는 Lugol's 용액으로 최종농도가 0.2%가 되도록 현장에서 고정한 후 알루미늄 호일로 차광하였다. 고정된 시료를 일주일 이상 암실에서 정치한 후 siphon을 이용해 상등액을 제거한 후 침전 농축된 시료를 분석에 이용하였다. 식물플랑크톤 정량분석은 광학현미경 (Type 115, Nikon)의 150배에서 계수하였으며, 농축한 시료를 근거로 계산한 conversion factor 값을 대입시켜 단위 체적당 세포수(cells mL⁻¹)로 현존량을 산출하였다.

식물플랑크톤의 군집분석을 위하여 출현된 종수와 현존량을 근거로 각 정점별, 계절별로 Simpson의 우점도 지수(Simpson, 1949), Shannon and Wiener의 다양성지수(Shannon and Wiener, 1963), Shannon의 지수를 이용한 균등도지수(Pielou, 1966)를 산출하였으며 계산은 COMM 컴퓨터 프로그램을 이용하였다. 식물플랑크톤 군집간의 유사성 분석을 위해 각 정점에서 출현한 종과 현존량을 근거로 Pearson correlation coefficient를 이용하여 집괴 분석을 하였으며, 계산은 SYSTAT 컴퓨터 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 이화학적 특성

조사지역의 요약한 이화학적 특성은 Table 2와 같다.

수온 분포는 표층에서 3.2~25.1°C, 저층에서는 평균 3.4~25.7°C의 범위로 동계에 가장 낮고 하계에 높은

일반적인 특성을 보였다. 수온 범위는 군산연안 수질환경의 특성을 조사한 Park *et al.* (2009)의 장기적인 수온 변화의 범위 (3.0~26.3°C)안에 포함되었다. 춘계와 하계의 평균수온은 표층이 저층보다 높았으나, 추계와 동계는 표층보다 저층이 높았다 (Fig. 2a). Lee and Yang (1997)은 금강하구역에서 500일간 일 평균기온과 채수 당시 수온을 연속 관찰한 결과 수온과 기온의 변화가 비슷하여 수온이 외양이나 대양에 비해 기온의 영향을 크게 받는다고 설명하였다. 본 연구에서 봄, 여름에는 표층의 평균수온이 저층보다 높고 가을, 겨울에는 반대의 양상을 보인 것은 Lee and Yang (1997)의 결과와 같이 수온이 대기 온도에 의한 영향을 크게 받기 때문으로 여겨진다.

염분은 표층에서 12.5~26.2‰, 저층에서 13.5~29.8‰의 범위였다. 동일수역에서 조사한 Kim and Kang (2002)의 결과를 보면 0.13~25.63‰의 범위로 나타나 본 연구 결과보다 낮게 나타났다. Park *et al.* (2009)과 비교할 때 최소값의 경우 다소 낮은 경향을 보이거나 최대값에는 유사한 경향을 보였다. 이는 Park *et al.* (2009)의 연구에서 정점 1만이 본 조사 연구 수역에 속하고 본 조사는 수문 인근에서도 조사된 것 때문으로 보여진다. 특이한 것은 추계에 가장 낮고 동계에 가장 높았다 (Fig. 2b). 금강 하구연의 경우는 수문을 열어 담수를 방류하는 양에 의해 염분이 크게 영향을 받는다 (Lee and Yang, 1997; Lee *et al.*, 1999; Yih *et al.*, 2005). 추계에 하계 조사에 비해 낮은 이유는 금강 하구연의 수문을 열어 담수를 방류하는 양이 추계가 하계에 비해 많았기 때문으로 사료된다.

전기전도도는 표층에서 0.4~42.5 μS cm⁻¹, 저층에서는 27.0~47.4 μS cm⁻¹의 범위였다. 전기전도도의 변화는 염분과 유사하였으며, 평균농도의 변화도 염분과 같은 경향을 나타내 추계에 가장 낮고 동계에 가장 높았다 (Fig. 2c).

수소이온농도는 표층에서 pH 6.8~7.9, 저층에서 pH 6.9~8.0의 범위였다. 동일수역에서 조사한 Kim and Kang (2002)의 결과를 보면 pH 6.8~7.8의 범위로 나타나 본 연구 결과와 유사하였다. 표층과 저층간의 변화는 거의 없었으나 (Fig. 2d) 계절적으로는 추계에 가장 낮고 하계에 가장 높았다. Park *et al.* (2009)의 결과는 pH 7.74~8.10으로 본 연구보다 높았다.

용존산소 농도는 표층에서 3.5~11.3 mg L⁻¹, 저층에서는 3.0~11.1 mg L⁻¹의 범위였다. Kim and Kang (2002)은 7월에 조사한 평균 값은 4.93~5.85 mg L⁻¹로 본 연구의 7월 평균이 4.0 mg L⁻¹보다는 약간 높았다. 조사수

Table 2. Summary of physicochemical characteristics in the Geum River estuary.

Month	Layer	Range	Temp. (°C)	Salinity (‰)	Cond. (μS cm ⁻¹)	PH	DO (mg L ⁻¹)	Do. sat. (%)	TDS (g L ⁻¹)	TN (mg L ⁻¹)	TP (mg L ⁻¹)	NO ₂ -N (mg L ⁻¹)	NH ₄ -N (mg L ⁻¹)	PO ₄ -P (mg L ⁻¹)	SiO ₂ -Si (mg L ⁻¹)
April	Surface	Average	10.7	19.2	30.2	7.0	8.4	85.7	19.6	1.291	0.061	0.166	0.260	0.015	0.373
		Max.	11.3	26.2	41.2	7.1	8.9	96.1	26.8	1.681	0.130	0.399	0.531	0.040	0.966
		Min.	9.8	12.5	20.9	6.8	8.1	79.2	13.6	0.665	0.034	0.108	0.110	0.001	0.030
	Bottom	Average	9.9	25.7	41.1	7.0	8.4	87.2	26.7	1.922	0.139	0.084	0.188	0.013	0.101
		Max.	10.8	29.8	46.3	7.1	8.8	93.1	30.1	2.610	0.776	0.154	0.513	0.030	0.411
		Min.	9.3	16.8	34.0	6.9	8.0	80.2	22.1	1.305	0.027	0.036	0.087	0.003	0.010
July	Surface	Average	24.0	20.7	33.0	7.8	4.0	54.1	21.9	2.506	0.054	0.440	0.438	0.026	0.024
		Max.	25.1	25.8	40.3	7.9	4.7	62.6	29.5	3.009	0.123	0.765	0.748	0.047	0.033
		Min.	22.9	14.1	23.3	7.6	3.5	45.7	15.1	2.131	0.005	0.161	0.216	0.017	0.009
	Bottom	Average	23.0	24.9	39.2	7.8	3.9	52.8	25.1	3.029	0.175	0.343	0.237	0.014	0.009
		Max.	24.2	29.0	44.7	8.0	4.6	61.7	29.1	4.154	0.383	0.998	0.421	0.030	0.029
		Min.	21.5	19.8	32.0	7.6	3.0	39.8	20.8	2.153	0.001	0.102	0.146	0.007	0.000
Oct.	Surface	Average	21.4	15.6	27.0	7.2	6.5	81.3	17.5	4.197	0.039	0.039	0.246	0.028	1.545
		Max.	22.2	22.6	39.7	7.3	8.0	96.7	25.8	5.967	0.051	0.050	0.571	0.041	1.891
		Min.	20.2	12.5	20.8	7.0	5.5	71.0	13.5	3.549	0.030	0.028	0.007	0.014	1.371
	Bottom	Average	22.5	19.8	33.5	7.2	5.7	73.2	21.8	6.005	0.042	0.030	0.327	0.023	1.228
		Max.	25.7	25.2	39.7	7.3	6.1	78.4	25.8	7.564	0.091	0.040	0.830	0.037	1.419
		Min.	21.9	13.5	27.0	6.9	5.3	68.4	17.6	4.526	0.017	0.021	0.021	0.006	1.105
Dec.	Surface	Average	3.3	23.2	34.4	7.3	10.3	102.7	24.4	6.173	0.028	0.041	0.228	0.008	0.741
		Max.	3.5	26.6	42.5	7.9	11.3	111.5	27.6	8.280	0.039	0.210	0.363	0.024	1.548
		Min.	3.2	19.0	4.0	7.1	10.1	101.3	20.3	3.153	0.020	0.010	0.189	0.001	0.108
	Bottom	Average	3.6	25.7	41.5	7.1	10.3	102.9	27.0	7.110	0.039	0.011	0.435	0.005	0.567
		Max.	4.0	29.2	47.4	7.7	11.1	110.1	30.8	8.164	0.089	0.020	0.618	0.011	0.791
		Min.	3.4	21.6	36.4	7.0	10.2	101.3	23.6	6.064	0.023	0.000	0.259	0.000	0.173

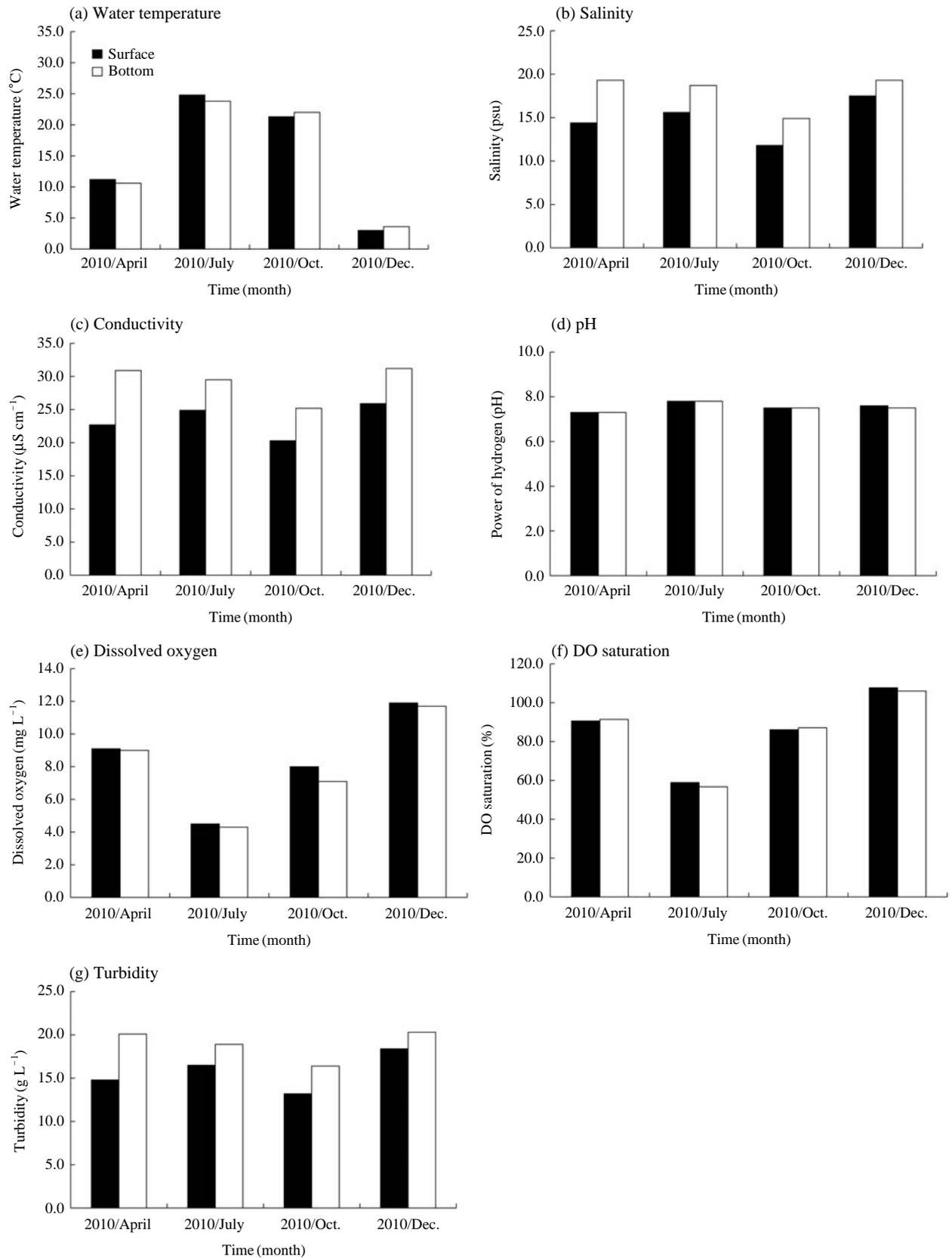


Fig. 2. Seasonal variations of physicochemical characteristics in the Guem River estuary.

역에서의 표층, 저층 평균은 각각 7.3 mg L^{-1} , 7.1 mg L^{-1} 으로 Park *et al.* (2009)의 정점 1 표층 저층 평균이 각각 8.26 mg L^{-1} , 8.09 mg L^{-1} 인 것과 비교하면 다소 낮은 수준이었다. 모든 계절에 표층이 저층에 비해 약간 높은 것으로 나타났는데 이런 결과는 광합성과 대기중에서 녹아든 산소로 인해 표층에서 용존산소의 농도가 높은 것으로 보이나 본 해역이 수직혼합이 활발하게 일어나는 수역이므로 수층 간에 차이는 거의 없는 것으로 보여진다. 여름철에 가장 낮고 겨울철에 가장 높았는데 (Fig. 2e) Park *et al.* (2009)와 같은 경향을 나타냈다.

산소포화도는 표층에서 45.7~111.5%, 저층에서 39.8~110.1%의 범위였다. 용존 산소와 같이 하계에 가장 낮고 동계에 높았다 (Fig. 2f).

탁도는 표층에서 $13.5 \sim 29.5 \text{ g L}^{-1}$, 저층에서는 $17.6 \sim 30.8 \text{ g L}^{-1}$ 의 범위였다. 금강 하구언이 만들어지기 이전의 부유물질의 변동에 대해 연구한 Cho and Seoh (1988)의 결과와 비교할 때 본 조사수역에 해당하는 상류에서의 탁도는 $1.3 \sim 13.8 \text{ g L}^{-1}$ 의 범위로 나타나 하구둑 건설 이전에 비해 탁도가 높게 나타났다. 계절 평균 변화양상은 표층과 저층의 경향이 다르게 나타났는데 표층의 경우는 겨울에 높고 여름, 봄, 가을의 순이었는데 저층의 경우는 봄에 겨울 수준으로 높았고 가을에 가장 낮았다 (Fig. 2g). 갑문 폐쇄 후 최대조류 속도가 30% 정도 감소하고, 부분 혼합형의 순환형으로 변화되어 물의 순환과 양상이 달라지고, 저층 재부유 현상이 뚜렷하게 감소하였으며 (Choi *et al.*, 1995) 담수방류에 의한 영향 등으로 표층과 저층의 혼합 정도가 다르게 나타난 것과 관련이 있는 것으로 보인다 (Choi *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 1999).

2. 영양염

영양염에 대한 자료들도 Table 2에 요약되어 나타났다.

총질소 농도는 표층에서 $0.665 \sim 8.280 \text{ mg L}^{-1}$, 저층에서는 평균 $1.305 \sim 8.164 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위였다. 총질소 농도는 춘계에 가장 낮았고 동계에 가장 높았다 (Fig. 3a). 춘계에는 식물플랑크톤이 증가하면서 동계에 축적된 영양염을 소비하는데 따른 계절적 특성이 반영된 것으로 판단된다.

총인 농도는 표층에서 $0.005 \sim 0.130 \text{ mg L}^{-1}$, 저층에서는 평균 $0.001 \sim 0.776 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위였다. 계절별 평균 농도는 겨울에 가장 낮고 여름에 가장 높았으며 표층에 비해 저층에서 농도가 높았다 (Fig. 3b).

아질산성 질소의 농도는 표층에서 $0.010 \sim 0.765 \text{ mg L}^{-1}$, 저층에서는 평균 $nd \sim 0.998 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위였다. 동

계에 가장 낮고 하계에 가장 높았다 (Fig. 3c). 갑문 폐쇄 이전의 영양염 농도를 조사한 Kim and Ki (1987a)의 결과 $0.001 \sim 0.009 \text{ mg L}^{-1}$, 하구언 갑문 폐쇄 초기의 Yang *et al.* (1999)의 $0.002 \sim 0.004 \text{ mg L}^{-1}$ 보다 상당히 증가한 것으로 나타났다. 인근 만경강 하구역의 결과 (Shim *et al.*, 1991) $0.005 \sim 0.879 \text{ mg L}^{-1}$ 와 비슷하였다.

암모니아성 질소의 농도는 표층에서 $0.007 \sim 0.748 \text{ mg L}^{-1}$, 저층에서는 $0.021 \sim 0.830 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위였다. 암모니아성 질소는 표층에서는 여름철에 가장 높았으며, 저층에서는 겨울철에 가장 높았다 (Fig. 3d). 표층의 평균 농도는 0.252 mg L^{-1} , 저층 평균 농도는 0.253 mg L^{-1} 로 Park *et al.* (2009)의 정점 1에서의 표층, 저층 평균이 각각 0.218 mg L^{-1} , 0.214 mg L^{-1} 인 것과 비교하면 다소 높은 수준이나 차이는 크지 않았다. 하지만 갑문 폐쇄 이전의 영양염 농도를 조사한 Kim and Ki (1987a)의 결과인 $0.002 \sim 0.017 \text{ mg L}^{-1}$ 그리고 하구언 갑문 폐쇄 초기에 영양염의 농도를 측정 한 Yang *et al.* (1999)의 결과인 $0.015 \sim 0.030 \text{ mg L}^{-1}$ 와 비교할 때 상당히 증가하였다. 인근 만경강에서 조사한 결과 (Shim *et al.*, 1991) $0.026 \sim 7.209 \text{ mg L}^{-1}$ 와는 유사한 수준이었다.

용존인의 농도는 표층에서 $0.001 \sim 0.047 \text{ mg L}^{-1}$, 저층에서는 $0.001 \sim 0.037 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위였다. 용존인 농도는 동계에 가장 낮고 추계에 가장 높았다 (Fig. 3e). 용존인의 표층과 저층 평균 농도는 각각 0.018 mg L^{-1} 와 0.013 mg L^{-1} 로 Park *et al.* (2009)의 정점 1에서의 표층, 저층 평균이 각각 0.035 mg L^{-1} 와 0.042 mg L^{-1} 인 것과 비교하면 절반 정도의 낮은 수준이었다. 이 결과는 천수만의 0.013 mg L^{-1} (Park *et al.*, 2006)이나 곰소만의 0.014 mg L^{-1} (Yang *et al.*, 2003)와는 유사한 수준이었다. 만경강 하구역에서의 $0.036 \sim 2.914 \text{ mg L}^{-1}$ (Shim *et al.*, 1991)에 비교하면 상당히 낮은 수준이다.

조사수역의 규산염 농도의 분포를 보면, 계절별로 표층에서는 평균 $0.019 \sim 1.588 \text{ mg L}^{-1}$, 저층에서는 평균 $0.007 \sim 0.98 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위였다. 규산염 농도는 하계에 가장 낮고 추계에 가장 높았다 (Fig. 3f).

Kim (1998)은 다변량 해석기법으로 금강 하구역에서 수질을 평가하여 부영양화의 일차요인이 금강과 경포천을 통해 유입되는 담수에 기인한 영양염류(특히 질소태)의 유입이며, 2차적 요인은 내부의 유기물 자정 능력과 계절적 변동으로 해석하였다. Kim and Kang (2002)은 금강하구역에서 영양염 거동에 대한 조석과 담수유출의 영향을 연구한 결과 하류역 주변의 토구 및 지천을 통한 생활하수의 유입에 의한 영향이 크고, 상류 금강 하구언에서 주기적으로 방류되는 담수의 영향을 많

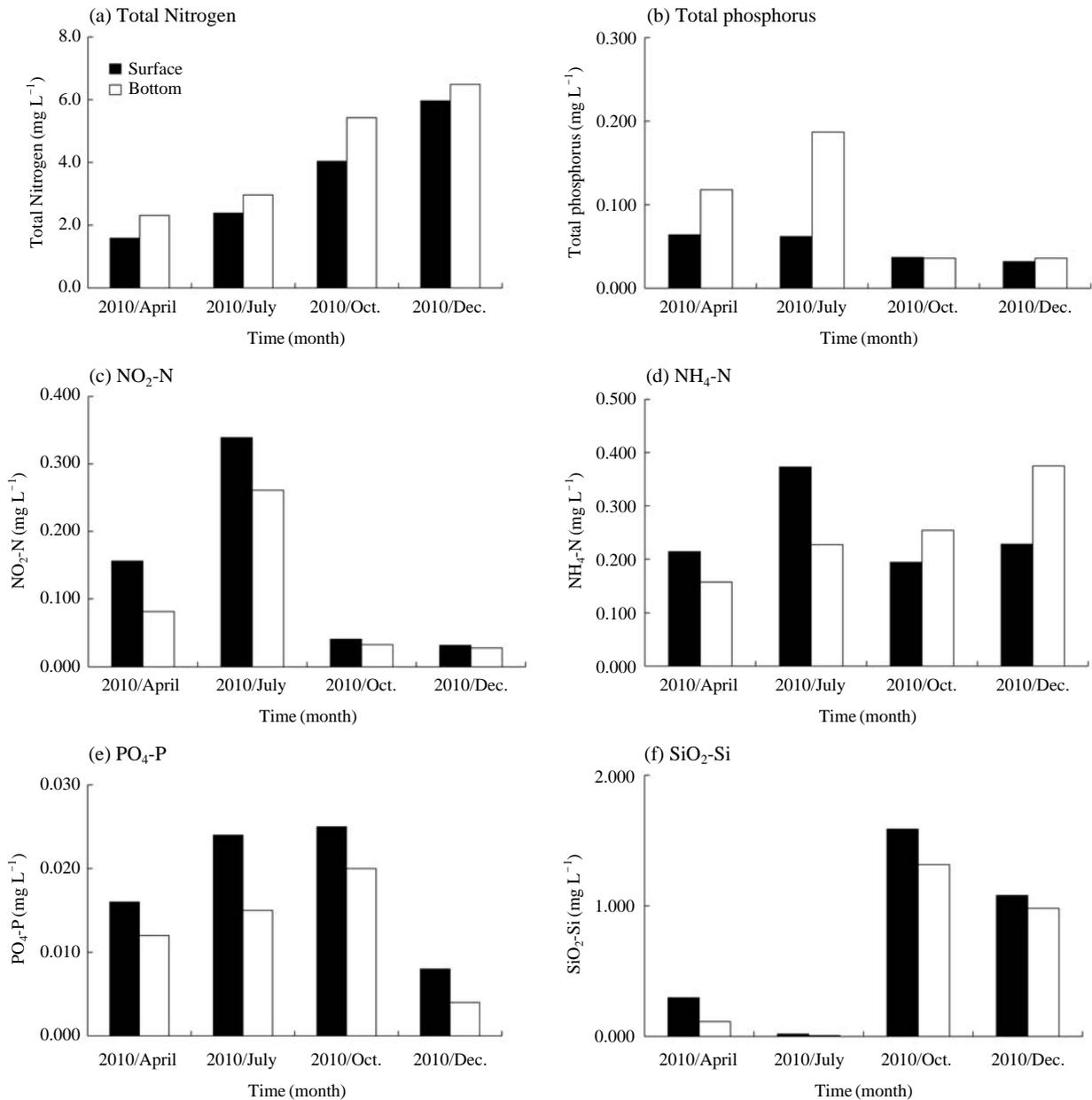


Fig. 3. Seasonal variations of nutrient concentrations in the Guem River estuary.

이 받는 것으로 보고하였다. Kim (1999)과 Kim and Kang (2002)의 연구 결과를 통해 유추해 볼 때, 본 연구에서 질산태 영양염 농도가 상당히 높은 것은 인근 군산과 장항에서 유입되는 생활용수와 금강 하구에서 주기적으로 유입되는 담수의 영향 때문으로 사료된다.

3. 식물플랑크톤 종조성

금강하구에서 계절별로 총 4회 조사한 결과, 식물플

랑크톤의 종은 총 233종이었다(Table 3). 이 결과는 금강하구에서 하구언 건설 이전 조사된 Shim and Yang (1982)의 101종, Jeong *et al.* (1985)가 96종을 분류한 것에 비해 두 배 이상 높았고 군산연근해에서 식물플랑크톤 상을 조사한 Shim and Yoo (1985)의 131종에 비해서도 아주 높은 수준이었다. 천수만에서 식물플랑크톤을 연구한 Shin *et al.* (1997)의 262종보다는 다소 적었다. 인근 만경강 하구역에서 식물플랑크톤의 군집을 조사한 Shim *et al.* (1991)의 160종보다는 다소 높은 수준

이었다. 분류군 가운데 규조류가 167종류로 가장 다양하였으며, 다음으로 녹조류가 24종류, 와편모류가 14종류, 남조류와 유글레나류가 각각 7종류씩, 갈색편모조류가 6종류, 규질편모류가 5종류, 미동정 편모류가 2종류, 담녹조류가 1종류 출현하였다(Table 3). 이런 출현종군의 구성비는 만경강 하구의 Shim *et al.* (1991), 한강하류의 Shim and Choi (1978)의 결과와 유사하였다.

춘계의 출현종은 118종류, 하계 108종류, 추계 145종류, 동계 119종류로 춘계에 최대 하계에 최소로 나타났다(Table 3). 모든 시기 규조류가 가장 다양하게 나타났고 다음으로는 계절에 따라 와편모조류 혹은 녹조류가 많이 나타났다.

표층과 저층의 출현종수는 모두 저층이 높은 경향을 보였다. 춘계에 표층 89종류, 저층 92종류, 동계에는 86종류, 저층에서 93종류가 출현하여 저층이 약간 많았으나 하계에는 표층 50종류, 저층 96종류로 저층에서 표층에 비해 다양하였으며, 추계에는 표층 89종류, 저층 121종류로 하계와 같이 저층에서 더 다양하였다. 춘계

에 정점에 따른 출현종수의 분포를 보면 표층에서 13~41종류의 범위였고, 저층에서는 14~33종류의 범위였다. 정점별로 보면 St.4의 표층에서 41종류로 가장 많았으며, St.6의 표층에서 13종류로 가장 적었다(Fig. 4). 하계에는 정점에 따른 출현종수는 표층에서 12~22종류

Table 3. Number of species of phytoplankton taxa were observed in the Geum River estuary.

Taxa / Month	April	July	October	December	All season
Bacillariophyceae	79	76	115	97	167
Chlorophyceae	11	8	13	7	24
Cyanophyceae	5	5	1	1	7
Dinophyceae	12	5	6	6	14
Cryptophyceae	1	4	2	2	6
Silicoflagellate	2	2	3	3	5
Euglenophyceae	6	5	3	1	7
Prasinophyceae	—	1	—	—	1
Unidentified flagellate	2	2	2	2	2
Sum	118	108	145	119	233

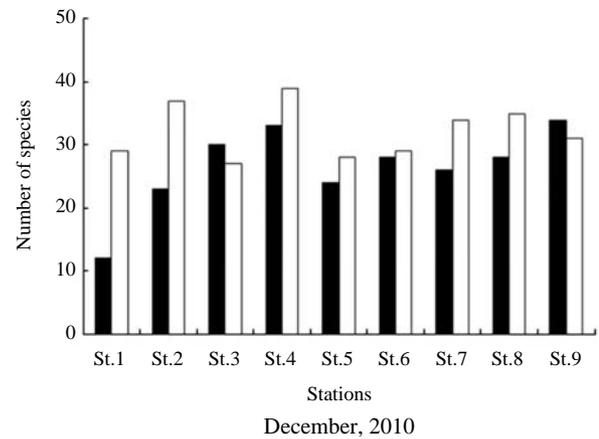
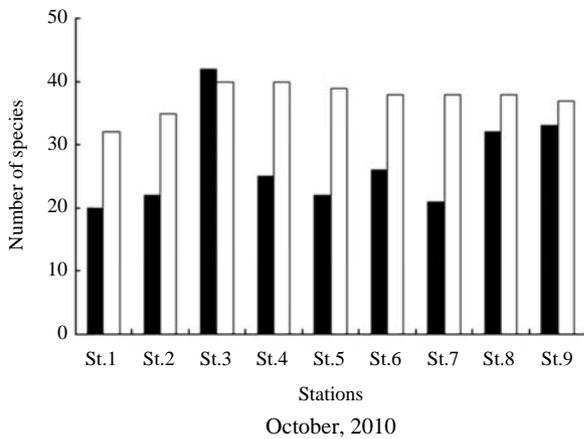
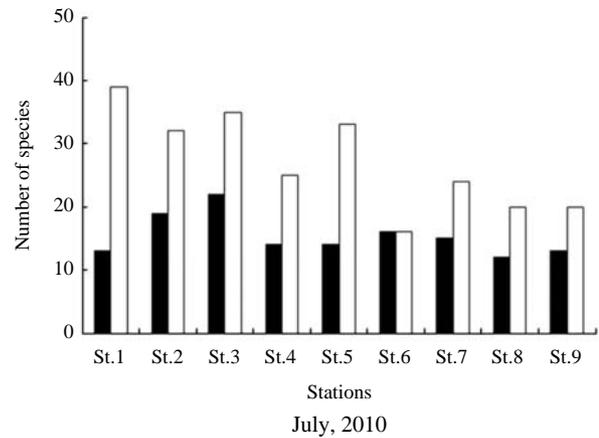
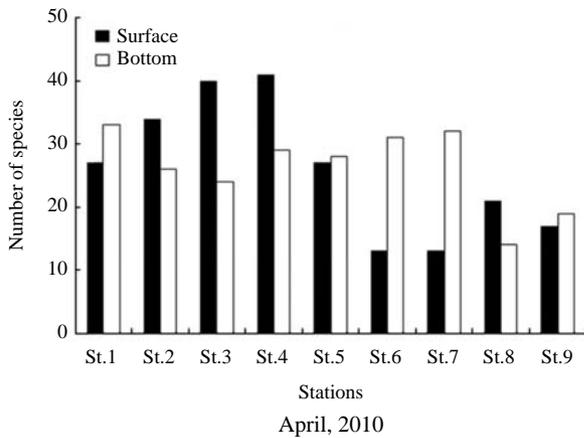


Fig. 4. Seasonal variations of number of phytoplankton species in the Guem River estuary.

의 범위였고, 저층에서는 16~39종류의 범위였다. 금강 하구인 부근의 St. 1의 저층에서 41종류로 가장 많았으며, 외해 측 St. 8의 표층에서 12종류로 가장 적었다. 이런 특성은 하계에 담수의 방류에 의한 영향을 받아 담수종의 유입이 출현종수의 분포에 영향을 준 것으로 사료된다. 추계의 출현종수는 표층에서 20~42종류의 범위였고, 저층에서 32~40종류의 범위를 보였다. St. 3의 표층에서 42종류로 가장 많았으며, 금강 하구둑 인근 St. 1의 표층에서 20종류로 가장 적었다. 동계에 정점에 따른 출현종수는 표층에서 12~34종류의 범위였고, 저층에서는 27~39종류의 범위를 보였다. St. 4의 표층에서 39종류로 가장 많았으며, 금강 하구둑 인근 St. 1의 표층에서 12종류로 가장 적었다.

식물플랑크톤 출현종의 분포 양상을 살펴보면 계절별 출현종수가 108~145종류의 범위로 100종류 이상 비교적 높게 나타난 것은 조사수역이 군산연안으로부터의 해수 유입과 금강 하구역의 주기적인 담수의 방류에 의해 해양종, 기수종, 담수종이 혼재하여 출현하였기 때문으로 사료된다. 금강으로부터 담수가 유입되는 영향을 받은 시기였던 여름과 가을에 종들이 다양하고 특히 표층과 저층간의 출현종의 수가 크게 차이가 나는 점을 고려할 때 담수의 영향을 주로 받는 표층보다는 저층에서 해양종이 출현하는 경향이 커져 저층에서 표층보다 좀 더 다양한 종들이 출현한 것으로 판단된다. Demers *et al.* (1986)에 의하면 기수역이나 연안해역에서 수직혼합은 주로 조류, 해수 표면에 미치는 바람의 응력 그리고 담수 유입의 운동에너지에 의해 생긴다고 하였다. 천수만의 경우 조류의 영향을 많이 받는 만입구에서는 저생성 규조류의 비율이 높고 만 내부에서는 낮은 분포양상을 보였다고 보고하고 있다 (Shin *et al.*, 1997). 금강 하구역의 특성이 하구인 공사 이후 변화된 양상이 간척사업 이후 천수만의 변화와 유사한 면이 많이 있는 것을 고려할 때 금강 하구둑 인근 St. 1에서 출현종이 적게 나타난 것은 상대적으로 조류의 영향을 적게 받아 해수종류들의 유입이 적고 저서성 규조류들의 비율이 적으며 금강 하구에서 방류되는 담수의 영향을 가장 많이 받는 곳으로 해양종류들의 출현이 상대적으로 적고 담수종류나 기수종류가 주로 출현하였기 때문으로 사료된다.

추계에는 범세계적인 보편종이며 (Roelofs, 1984) 서해 연안에서 항시 보편종으로 출현하는 저서성 일시부유성 규조류인 *Paralia sulcata* (Shin *et al.*, 1997)와 광범위한 수온과 염분 변동에 내성을 지니는 연안성 규조류인 *Skeletonema costatum* (Takano, 1995)가 전 조사정점에

서 출현하는 보편종이었다. 이외에도 규조류인 *Asterionellopsis glacialis*, *Cyclotella* sp., *Nitzschia longissima*, *N. seriata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira rotula*, *Thalassiosira* sp.가 대부분의 정점에서 출현하였다. 녹조류에서는 *Ankistrodesmus falcatus*가 보편종이었고, 중속영양성 외편모조류인 *Protoperdinium bipes*와 은편모류에 속하는 *Cryptomonas* sp.도 보편종으로 출현하였다. 하계에는 여름철 집중 강우에 의한 대규모 담수 유입으로 상류에서 담수 및 기수성 규조류인 *Aulacoseira granulata*와 *Fragilaria crotonensis*가 모든 정점에서 나타났으며 또한 은편모류에 속하는 *Plagioselmis* sp.가 대부분의 정점에서 출현하였다. 추계에도 하계와 유사하게 기수성 규조류인 *A. granulata*와 은편모류 *Cryptomonas* sp.가 보편종으로 출현하였다. 동계에는 낮은 수온에 적응하는 규조류가 주요종으로 *Chaetoceros debilis*, *C. socialis*, *Rhizosolenia delicatula*와 광범위한 수온 변동에 내성을 지니는 부유종인 *S. costatum*이 보편종이었다. 또한 하구역에서 동계에 주로 우점하는 소형 규조류인 *Stephanodiscus hantzschii*가 보편종으로 출현하였다.

전반적으로 식물플랑크톤 분류군 가운데 규조류가 핵심종(key species)으로 출현하였다. 이는 규조류가 편모조류나 기타의 분류군에 비해 수온, 염분 그리고 난류와 같은 환경적인 변화가 큰 곳에서도 잘 적응하는 특징에 의한 것으로 생각된다. 담수종인 녹조류가 규조류 다음으로 많이 출현하였고 해양에서 중요한 분류군인 외편모류는 녹조류보다 적었다. 한국연안에서는 대체로 규조류와 외편모류가 주된 분류군으로 조사되고 있어 본 조사에서도 한국연안의 일반적인 특성을 반영하였다 (Choi *et al.*, 2003a, b). 그러나 본 연구에서 해양종인 외편모조류보다 담수종인 녹조류가 더 많은 종이 출현하는 것은 주기적인 담수의 방류와 경포천 등에서 유입되는 담수에 포함된 담수종들이 금강 하구역의 식물플랑크톤 종조성에 영향을 주기 때문으로 사료된다.

4. 식물플랑크톤 현존량

식물플랑크톤의 현존량은 143 cells mL⁻¹ (4월 정점 7 표층)~12,016 cells mL⁻¹ (7월 정점 1 표층)의 범위로 평균 현존량은 2,010 cells mL⁻¹이었다. 이 결과는 하구인 건설 이전의 금강 하구역의 식물플랑크톤을 조사한 Shim and Yang (1982)의 97~1,707 cells mL⁻¹ (평균 700 cells mL⁻¹), Jeong *et al.* (1985)의 60~1,330 cells mL⁻¹, 군산 연안해역의 Shim and Yoo (1985)의 16~295 cells mL⁻¹보다 더 높았다. 인근 만경강 하구에서의 식물플랑크톤

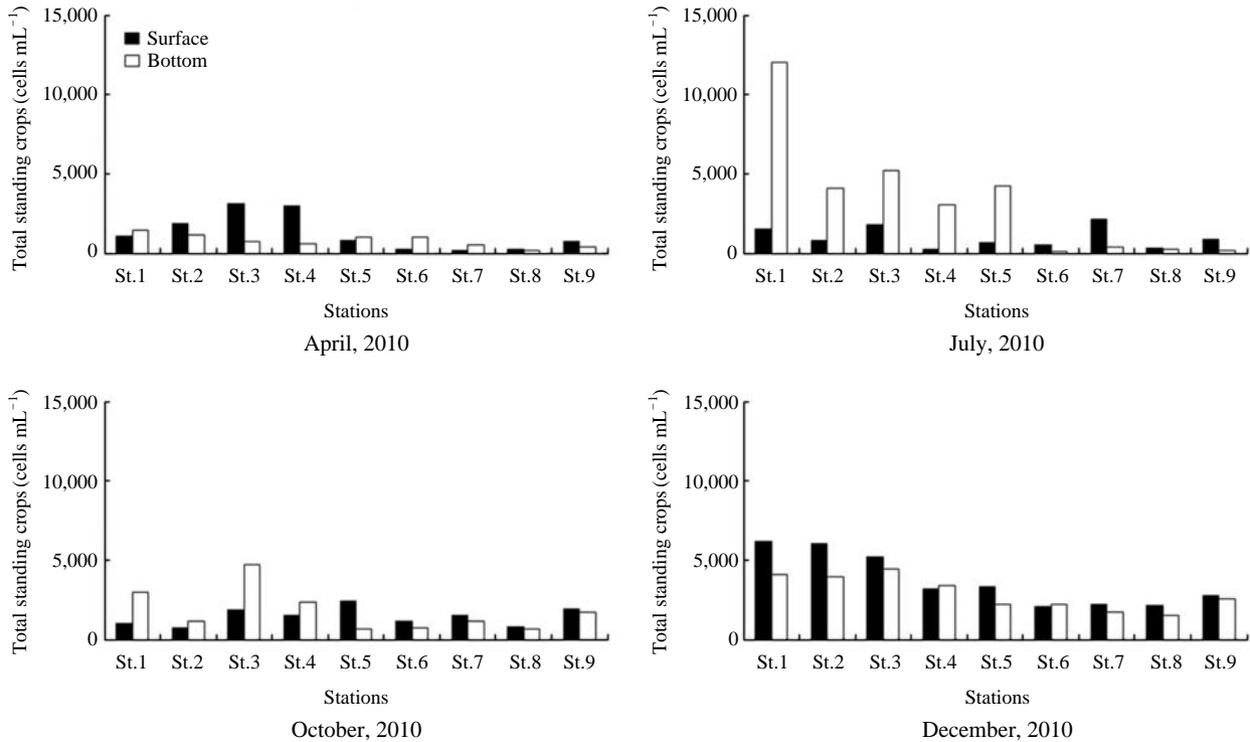


Fig. 5. Seasonal variations of phytoplankton standing crops in the Guem River estuary.

의 현존량(Shim *et al.*, 1991)이 244~22,580 cells mL⁻¹인 것보다는 다소 낮았다. 식물플랑크톤 현존량의 변화 요인들은 빛, 온도, 영양염의 농도, 수직혼합과 퇴적, 동물플랑크톤의 포식 등이다(Williams *et al.*, 2002; Wetzel, 2008). 그 중 현존량의 증가는 부영양화가 주요 원인이다. Kim (1999)과 Kim and Kang (2002)은 금강 하구역에서 부영양화 현상이 일어나고 있고 그 일차 원인이 질산태 질소에 의한 것이라고 밝힌 바 있다. 본 연구에 이전 자료들과 비교할 때 질산태 질소의 농도가 크게 증가하면서 식물플랑크톤의 현존량을 증가하게 한 것으로 사료된다.

춘계의 식물플랑크톤 현존량은 표층에서 143 cells mL⁻¹(정점 7)~3,076 cells mL⁻¹(정점 3), 저층에서 168 cells mL⁻¹(정점 8)~1,444 cells mL⁻¹(정점 1)의 범위로 표층에서 변동의 폭이 컸다(Fig. 5). 평균값은 표층에서 1,236 cells mL⁻¹, 저층에서 780 cells mL⁻¹로 표층이 컸다. 하계의 식물플랑크톤 현존량은 표층에서 257 cells mL⁻¹(정점 4)~2,122 cells mL⁻¹(정점 7), 저층에서 119 cells mL⁻¹(정점 6)~12,016 cells mL⁻¹(정점 1)의 범위로 나타났다(Fig. 5). 표층 평균은 990 cells mL⁻¹로 저층 평균 3,280 cells mL⁻¹보다 상당히 적었다. 추계에는 표층에서 765 cells mL⁻¹(정점 2)~2,429 cells mL⁻¹(정

점 5), 저층에서 672 cells mL⁻¹(정점 5)~4,717 cells mL⁻¹(정점 3)의 범위였다. 표층 평균 현존량은 1,442 cells mL⁻¹이고 저층은 1,788 cells mL⁻¹로 표층이 적었다. 동계조사에서, 표층에서 2,073 cells mL⁻¹(정점 6)~6,160 cells mL⁻¹(정점 1), 저층에서 1,503 cells mL⁻¹(정점 8)~4,423 cells mL⁻¹(정점 3)의 범위를 보였다(Fig. 5). 표층의 평균 현존량은 3,676 cells mL⁻¹이었고, 저층 평균 현존량은 2,890 cells mL⁻¹로 표층에 비해 적었다.

규조류가 현존량에 기여하는 정도는 표층에서 춘계 66.7%, 동계 97.9%를 점유하였으나 저층에서는 춘하추동 모든 계절에 각각 65.6%, 68.0%, 96.3%, 99.3%를 점유하여 저층에서의 기여도가 컸다. 하계과 추계에는 표층에서만 은편모류가 각각 54.4%, 48.8%를 점유하여 차이를 보였다(Fig. 6).

5. 우점종

춘계에 식물플랑크톤 출현종 중에서 10% 이상의 점유율을 보인 우점종 중 가장 점유율이 큰 종은 표층에서 평균 19.0%, 저층에서 평균 15.1%의 점유율을 보인 규조류 *Cyclotella* sp.였다. 아우점종은 광범위한 수온과 염분변동에 내성을 지니는 해양성/기수성 규조류 *S. costata*

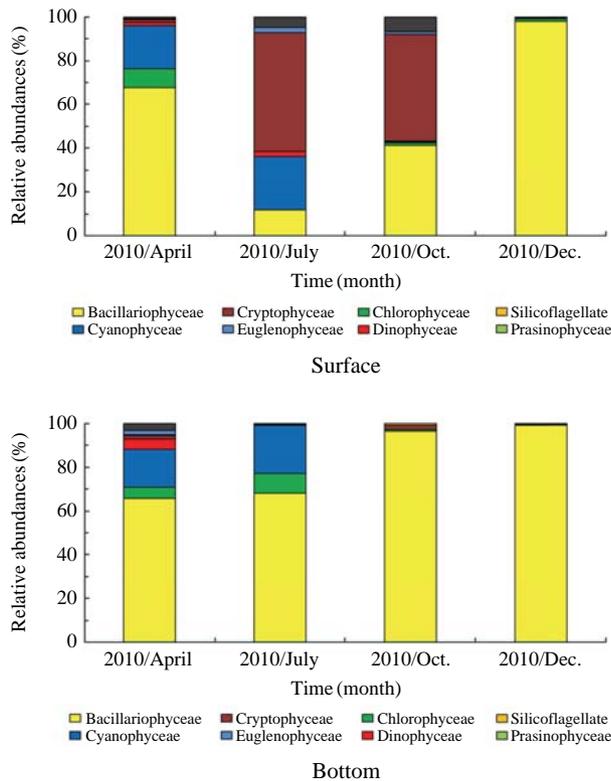


Fig. 6. Seasonal variations of relative ratio of phytoplankton taxa in the Guem River estuary.

tum으로 표층에서 평균 10.1%, 저층에서 평균 12.9%의 점유율을 나타냈다. 이외에 한 두 정점에서 10% 이상의 점유율을 보인 조은 남조류인 *Phormidium* sp.와 기수성 규조류인 *Aulacoseira ambigua*와 연안성 규조류인 *N. longissima*가 우점하였다. 전반적으로 기수 및 연안성 규조류가 주요 우점종이었고, 부착성으로 여러 기질에서 탈락하여 수계에 포함된 사상형 남조류도 우점종으로 출현하였다(Fig. 7).

하계 표층에서는 은편모류에 속하는 *Plagioselmis* sp., 가장 점유율이 높으며, 저층에서는 담수성 규조류인 *Fragilaria crotonensis*가 가장 점유율이 높아 수직적으로 차이를 보였다. 표층에서는 부영양화 지표성 남조류로 비사상체형의 군체를 형성하는 *Microcystis* sp.가 아우점종으로 나타났고, 저층에서는 정점에 따라 담수 및 기수성 규조류인 *A. granulata* v. *angustissima*와 *A. granulata*가 아우점종으로 나타났다. 이외에도 표층에서 은편모류에 속하는 *Rhodomonas salina*가 일부 정점에서 우점종으로 나타났고, 저층에서는 사상체형의 *Oscillatoria* sp.가 우점하였다. *Plagioselmis* sp.는 전체 식물플랑크톤 현존량에서 표층에서 56.1%의 점유율을 나타냈고, 저층에

서는 *Fragilaria crotonensis*가 31.0%의 점유율을 보였다. 하계에는 여름철 집중 강우에 의한 하구언으로부터 금강 하구역으로 담수가 방류된 것으로 보여지는데 금강하구역 상류에서 담수 및 기수성 규조류인 *A. granulata*와 *F. crotonensis*가 우점종으로 나타났으며 또한 은편모류에 속하는 *Plagioselmis* sp.가 우점하였고 이외에도 담수성 남조류가 우점종으로 나타나 이를 뒷받침하고 있다.

추계 표층에서는 은편모류에 속하는 *Plagioselmis* sp.가 우점율이 가장 높았고, 저층에서는 규조류인 *Cyclotella* sp.가 가장 우점하여 수직적으로 차이를 보였다. 이외에도 표층에서는 미동정된 구형의 편모류(Round flagellates)와 광온·광염성 규조류인 *S. costatum*이 우점하였다. 저층에서는 기수성 규조류인 *A. granulata* v. *angustissima*와 *A. granulata*가 우점종으로 나타났다. 이외에도 저층에서는 저서성 일시부유성 규조류인 *P. sulcata*가 우점하였다. 최우점종인 *Plagioselmis* sp.는 표층에서 평균 47.0%의 점유율을 보였고, *Cyclotella* sp.는 저층에서 평균 29.4%의 점유율을 나타냈다. 추계에도 지난 하계와 같이 담수유입에 의한 영향을 지속적으로 크게 받고 있으며, 표층과 저층의 우점종의 차이가 크게 나타나고 있다. 이는 밀도가 낮은 담수가 해양표층으로 유입되면서 염분의 차이로 인해 표층과 저층사이에 서로 다른 수층이 존재하면서 출현하는 종과 현존량이 서로 다르게 나타난 것으로 보여진다(Fig. 7).

동계 표층과 저층에서 부영양화 지표성으로 기수성 규조류인 *S. hantzschii*가 가장 점유율이 높았다. 다음으로 광온·광염성 규조류인 *S. costatum*이 다음으로 우점하였다. 이외에도 동계에 낮은 수온에 적응하는 연안성 규조류인 *Chaetoceros debilis*, *C. socialis*, *Rhizosolenia delicatula*가 우점종이었다. *S. hantzschii*의 점유율은 표층에서 57.9%로 높았으나 저층에서는 9.3%로 표층에 비해 아주 낮았다. *S. costatum*은 표층에서 29.7%, 저층에서 평균 9.1%의 점유율을 보였다. 동계에는 낮은 수온에 적응하는 기수 및 연안성 규조류가 주요 우점종으로 출현하여 계절적인 변동 특성을 보였다(Fig. 7).

6. 생태지수들 (종다양성지수, 풍부도지수, 균등도지수, 우점도지수)

종다양성지수는 군집의 안정성을 평가하는 생태학적 군집 지수로 활용된다. 2010년 4월 춘계조사에서 종다양성 지수는 최저 1.14(St. 9, 표층)에서 최고 3.20(St. 7, 저층)의 변화폭을 보였다. 평균적으로 표층에서 다양도

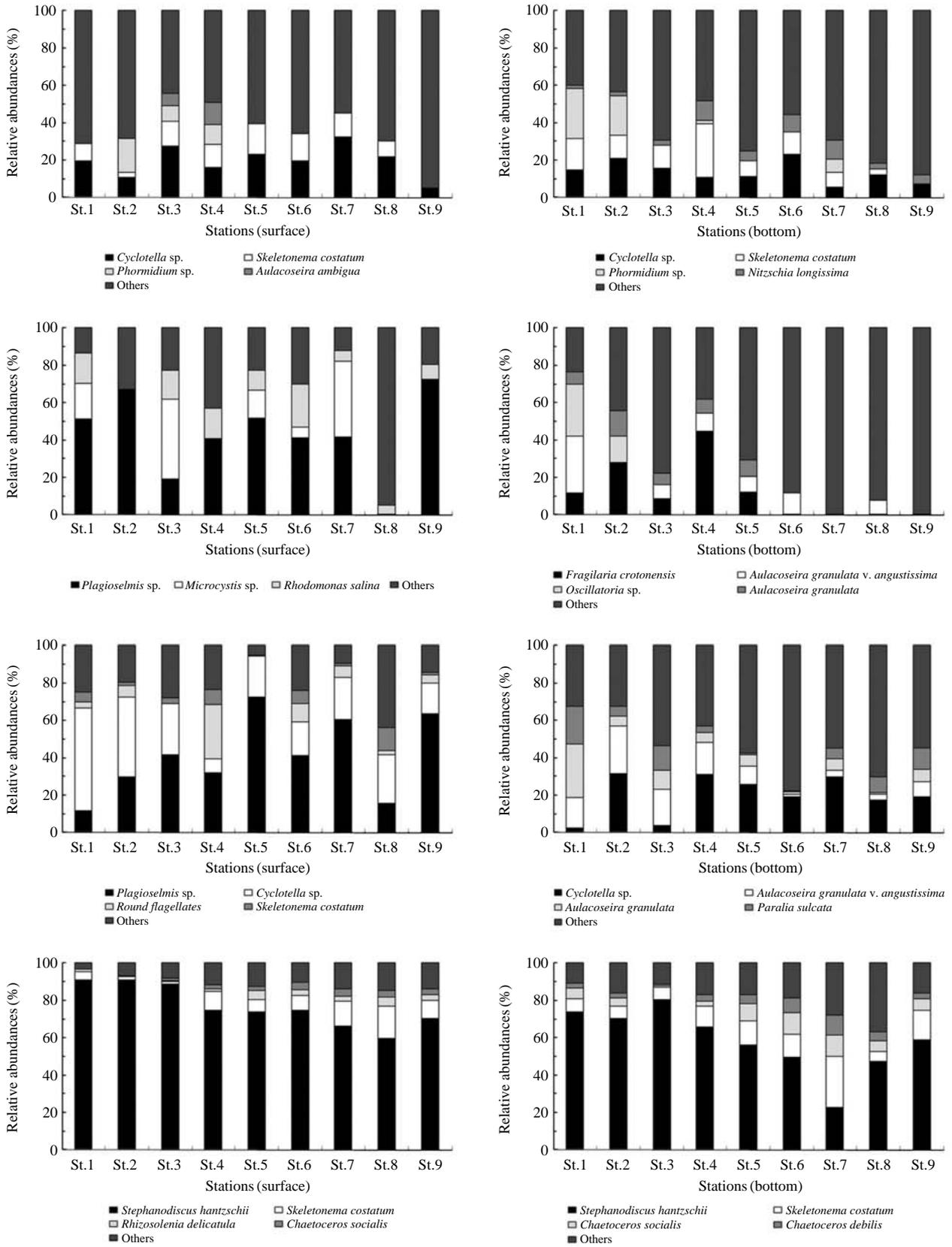


Fig. 7. Spatial and seasonal variations of relative abundance of phytoplankton dominant species in the Geum River estuary.

Table 4. Index of diversity, richness, evenness and dominance of phytoplankton community.

Month	Layer	Index / Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average
April	Surface	Diversity	2.93	2.76	2.79	3.01	2.58	2.25	2.22	2.73	1.14	2.49
		Richness	3.73	4.39	4.86	5.00	3.87	2.20	2.41	3.60	2.44	3.61
		Evenness	0.89	0.78	0.76	0.81	0.78	0.88	0.87	0.90	0.40	0.78
		Dominance	0.29	0.41	0.41	0.28	0.40	0.41	0.44	0.31	0.81	0.42
	Bottom	Diversity	2.55	2.58	2.69	2.72	2.66	2.86	3.20	2.45	2.31	2.67
		Richness	4.40	3.55	3.49	4.35	3.90	4.33	4.99	2.55	3.05	3.84
		Evenness	0.73	0.79	0.85	0.81	0.80	0.83	0.92	0.93	0.78	0.83
		Dominance	0.44	0.42	0.33	0.39	0.37	0.35	0.18	0.30	0.50	0.36
July	Surface	Diversity	1.50	1.52	1.89	1.94	1.67	1.90	1.39	1.42	1.16	1.60
		Richness	1.64	2.69	2.80	2.35	2.00	2.40	1.83	1.89	1.77	2.15
		Evenness	0.58	0.52	0.61	0.74	0.63	0.68	0.51	0.57	0.45	0.59
		Dominance	0.70	0.73	0.62	0.58	0.67	0.64	0.82	0.71	0.80	0.70
	Bottom	Diversity	2.20	2.39	2.32	2.07	2.40	2.54	2.80	2.25	2.58	2.39
		Richness	4.05	3.73	3.97	2.99	3.83	3.11	3.84	3.51	3.74	3.64
		Evenness	0.60	0.69	0.65	0.64	0.69	0.91	0.88	0.75	0.86	0.74
		Dominance	0.58	0.42	0.51	0.56	0.45	0.34	0.31	0.51	0.37	0.45
October	Surface	Diversity	1.78	1.77	2.01	2.00	0.88	1.96	1.31	2.62	1.47	1.76
		Richness	2.73	3.16	5.45	3.29	2.69	3.55	2.73	4.63	4.22	3.61
		Evenness	0.60	0.57	0.54	0.62	0.28	0.60	0.43	0.76	0.42	0.54
		Dominance	0.67	0.72	0.69	0.61	0.94	0.59	0.83	0.41	0.80	0.70
	Bottom	Diversity	2.27	2.27	2.81	2.56	2.77	2.84	2.73	2.75	2.68	2.63
		Richness	3.88	4.83	4.61	5.03	5.83	5.63	5.25	5.67	4.83	5.06
		Evenness	0.66	0.64	0.76	0.69	0.76	0.78	0.75	0.76	0.74	0.73
		Dominance	0.49	0.57	0.33	0.48	0.41	0.34	0.42	0.39	0.38	0.42
December	Surface	Diversity	0.44	0.52	0.62	1.15	1.19	1.18	1.37	1.55	1.36	1.04
		Richness	1.26	2.53	3.39	3.97	2.84	3.53	3.24	3.52	4.17	3.16
		Evenness	0.18	0.17	0.18	0.33	0.37	0.35	0.42	0.47	0.39	0.32
		Dominance	0.95	0.93	0.93	0.85	0.80	0.83	0.79	0.77	0.80	0.85
	Bottom	Diversity	1.21	1.39	0.93	1.54	1.70	1.82	2.23	2.15	1.62	1.62
		Richness	3.37	4.35	3.10	4.67	3.51	3.64	4.43	4.65	3.82	3.95
		Evenness	0.36	0.38	0.28	0.42	0.51	0.54	0.63	0.60	0.47	0.47
		Dominance	0.81	0.77	0.87	0.77	0.69	0.62	0.50	0.55	0.75	0.70

지수는 2.49, 저층에서는 2.67로 평균 2.58의 수치를 기록하였다. 2010년 7월 하계조사에서 종다양성 지수는 최저 1.16 (St. 9, 표층)에서 최고 2.80 (St. 7, 저층)의 변화폭을 보였다. 평균적으로 표층에서 다양도지수는 1.60, 저층에서는 2.39로 저층에서 높았으며, 평균 2.00의 수치를 기록하였다. 이것은 Yeou and Kang (1998)의 1.93보다 약간 높았고, 경기만 대부분의 지역에서 2.50 이상인 것 (Choi, 1985)과 비교하면 다소 낮았다. 2010년 10월 추계조사에서 종다양성 지수는 최저 0.88 (St. 5, 표층)에서 최고 2.84 (St. 6, 저층)의 변화폭을 보였다. 평균적으로 표층에서 다양도지수는 1.76, 저층에서는 2.63으로 저층에서 높았으며, 평균 2.19의 수치를 기록하였다. 2010년 12월 동계조사에서 종다양성 지수는 최저 0.44 (St. 1, 표층)에서 최고 2.23 (St. 7, 저층)의 변화폭을 보였

다. 평균적으로 표층에서 다양도지수는 1.04, 저층에서는 1.62로 평균 1.33의 수치를 기록하였다 (Table 4). 2010년 4월 춘계에 평균 2.58로 가장 높았으며, 2010년 12월 동계에 평균 1.33으로 가장 낮았다. 동계에는 낮은 것은 *S. hantzschii*의 점유율이 매우 높았기 때문이었다. 본 조사에서는 동계를 제외하면 2.0 이상으로 다소 높았다. 정점별로 보면 전반적으로 가장 하류측 정점에서 높았으며, 상류의 금강 하구둑 담수방류 지점에서 낮은 특성을 보였다. 하류측에서는 해양종의 유입에 의해 기수역에 존재하던 종들에 해양종이 더해지므로 더 다양한 종조성을 이루기 때문이며 반면에 금강 하구둑 지점에서는 해양종의 경우 저염 스트레스에 의한 저해영향과 담수종의 경우 삼투저해의 영향을 받음으로 인해 종 다양성이 떨어진 것으로 판단된다.

중풍부도지수는 4월에 2.20 (St. 6 표층)~5.00 (St. 4 표층)의 범위로 평균은 표층 3.61, 저층 3.84로 저층이 다소 높았다. 7월에는 1.64 (St. 1 표층)~4.05 (St. 1 저층)의 범위로 평균은 표층 2.15, 저층 3.64로 차이가 컸다. 10월은 2.69 (St. 5 표층)~5.83 (St. 5 저층)의 범위로 평균은 표층 3.61, 저층 5.06으로 조사시기 중 가장 높았으며 저층에서 상당히 높았다. 12월에는 1.26 (St. 1 표층)~4.67 (St. 4 저층)의 범위로 평균은 표층 3.16 저층 3.95로 저층이 다소 높았다 (Table 4). 가을철에 가장 높았는데 여러 이화학자료와 종조성 및 정량자료들을 근거로 판단하면 가을철에 금강 하구언으로부터 담수가 방류되어 담수종들이 추가된 것이 풍부도를 크게 하는데 기여한 것으로 판단된다. 여름철에는 수온이 높아지면서 밀도가 큰 규조류들은 적어지고 작은 편모류가 증가하지만 종의 수는 많지 않은 계절적인 특성을 지니고 있어 담수의 영향을 받음에도 불구하고 다른 계절에 비해 중 풍부도는 낮았던 것으로 여겨진다. 모든 계절에 중 풍부도가 저층에서 높게 나타나는 것은 표층에 비해서 염분 쇄기에 의해 해양종, 기수종 및 담수종이 혼재될 가능성이 크고 더 나아가 조류의 영향으로 저층 퇴적물이 재부유될 때 저생성 규조류가 더해지기 때문으로 여겨진다 (Shin *et al.*, 1997).

균등도지수는 4월에 0.40 (St. 9 표층)~0.93 (St. 8 저층)의 범위로 평균은 표층 0.78, 저층 0.83로 저층이 다소 높았고 조사 기간 중에 가장 높았다. 7월에는 0.45 (St. 9 표층)~0.91 (St. 6 저층)의 범위로 평균은 표층 0.59, 저층 0.74로 조사 기간 중 낮은 편이었다. 10월은 0.42 (St. 9 표층)~0.78 (St. 6 저층)의 범위로 평균은 표층 0.54, 저층 0.73으로 조사시기 중 가장 높았으며 저층에서 상당히 높았다. 12월에는 0.17 (St. 2 표층)~0.63 (St. 7 저층)의 범위로 평균은 표층 0.32, 저층 0.47로 조사기간 중 가장 낮았다 (Table 4). 종 다양성처럼 봄철에 가장 높고 겨울철에 가장 낮은 경향을 보이는데 *S. hantzschii*의 높은 점유율 때문이다. 모든 계절에 중 풍부도가 저층에서 높게 나타나는 것은 표층에 비해서 다양한 종이 출현하는 것과 관련이 있는 것으로 보여진다.

우점도지수는 종 다양성지수와 반대로 나타나는데 4월에 0.18 (St. 7 저층)~0.81 (St. 9 표층)의 범위로 평균은 표층 0.42, 저층 0.36로 저층이 다소 낮았다. 7월에는 0.31 (St. 7 저층)~0.82 (St. 7 표층)의 범위로 평균은 표층 0.70, 저층 0.45로 표층이 저층보다 상당히 높았다. 10월은 0.33 (St. 3 저층)~0.94 (St. 5 표층)의 범위로 평균은 표층 0.70, 저층 0.42로 수층간 차이가 가장 컸다. 12월에는 0.50 (St. 7 저층)~0.95 (St. 1 표층)의 범위로 평균

은 표층 0.85, 저층 0.70로 조사기간 중 가장 높았다 (Table 4). 겨울철에 우점도가 가장 높은 것은 *S. hantzschii*의 현존량이 다른 종들에 비해 매우 높았기 때문이다. 저층에 비해 표층에서의 우점율이 크게 나타난 것은 앞에서 언급한 기수역의 특성 때문이다.

7. 집괴분석과 지역간 유사성

Pearson correlation coefficient를 이용하여 집괴 분석한 결과를 distance 0.5를 기준으로 나누어 보면 2010년 4월 춘계조사에서는 기수역의 대부분 정점을 포함한 수역 (St. 1 표층, 저층, St. 2 저층, St. 3 표층, 저층 St. 4 표층, 저층, St. 5 표층, St. 6 표층, 저층, St. 7 표층, St. 8 표층)과 기타 정점들로 나누어진다 (Fig. 8a). St. 8 저층은 외양의 해수의 유입으로 다른 특성을 보였고, St. 2 표층은 바로 앞에 위치한 장항 쪽에서 육상에서 유입되는 생활하수나 기타 폐수에 의해 영양을 받는 것으로 보여지며 St. 5의 저층은 원인을 알 수 없는 다른 영향을 받아 다르게 나타난 것으로 보인다. 정점 9는 군산항에서 외해로 나가는 수로로 완전히 다른 특성을 보이고 있는데 군산으로부터 유입되는 생활하수나 기타 폐수의 영향을 받아 원래 기수역의 수질과는 다른 특성을 나타내는 것으로 보인다. 군산항 인근 정점인 St. 3, St. 4이 아주 유사하게 나타나고 그 주변으로 유사도가 점차 적어지는 방향으로 나가는 것은 아주 의미가 있다. 즉 군산항 상류로 유입되는 경포천의 영향이 군산항 인근에서부터 시작하여 금강하구 기수역의 전반으로 퍼지면서 수질에 영향을 주고 있음을 시사하기 때문이다. Kim (1998)은 금강 하구의 수질을 평가하면서 금강 및 경포천의 영향을 받고 있다고 하였다. 이를 근거로 판단할 때 갈수기에 금강 하구언에서 담수를 방류하지 않는 것을 고려하면 경포천으로부터 유입된 담수 때문으로 금강 기수역이 같은 수괴로서의 특성을 보인 것으로 여겨진다.

7월 하계조사에서 기수역 대부분의 정점을 포함하는 수역 (St. 1 표층, St. 2 표층 정점 3 표층, St. 4 표층, St. 5 표층, 저층, St. 6 표층, St. 7 표층, St. 9 표층)과 나머지 정점들로 구분되었다. St. 1, St. 2, St. 3, St. 4의 저층이 다르게 나타나고 정점 8의 표층과 저층 그리고 St. 9의 저층이 분리되었다. 그 이유는 여름철 집중호우로 상당량의 담수가 유입되면서 전체적으로 표층은 밀도가 낮은 담수의 영향을 받으나 기수역 상류의 저층은 원래 존재 하던 수괴가 온전히 혼합되지 않아 다르게 나타난 것으로 보여지며, St. 8은 외해의 영향을 받아 다른 특성을 나타내는 것으로 여겨진다. 정점 9에서 완전히 다른 성

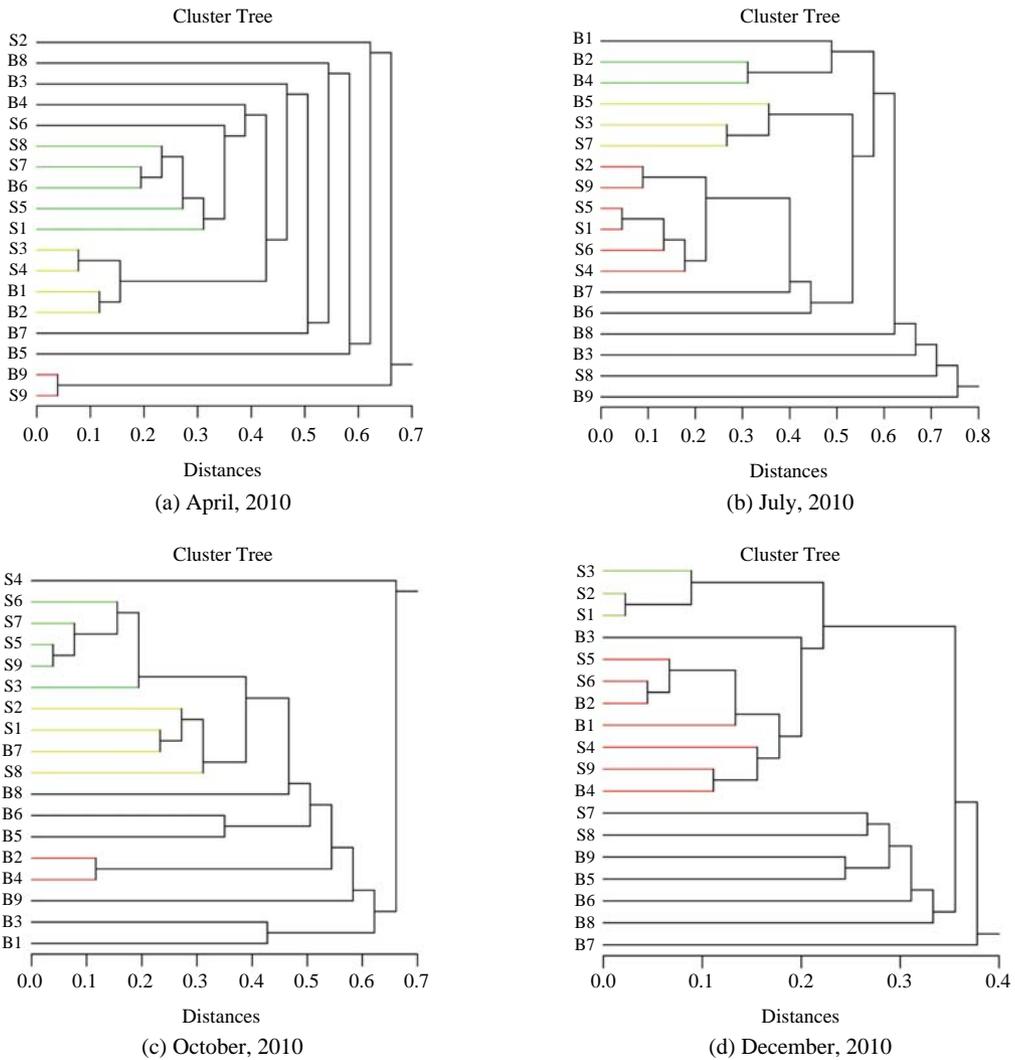


Fig. 8. Dendrogram of cluster analysis of phytoplankton community in the Geum River Estuary.

격을 나타내고 있음은 봄철과 같이 그곳의 성격이 금강 하구 기수역과는 다른 특성을 보이기 때문으로 판단된다(Fig. 8b).

10월의 경우는 기수역 대부분 수역과 St. 1, St. 2, St. 3, St. 4, St. 9 저층들이 구분되는 것으로 나타났다(Fig. 8c). 7월의 수역 구분 양상과 거의 같으나 담수의 유입으로 인한 영향이 커져 여름철에 비해 영역이 연안역 부분으로 확장되어 St. 8도 같은 수역의 특성을 보였다. 여름철과 같이 기수역 상류지역(St. 1, 2, 3, 4)의 저층은 담수에 의해 온전하게 영향을 받지 않아 다른 특성을 나타냈다. 여름과 가을의 표층은 계절적인 특성에 따라 집중 호우 등의 영향으로 주변으로부터 유입되는 생활 하수나 금강 하구언에서 방류되는 담수 그리고 경포천에서 유입되는 담수 등 다양한 담수 유입 경로가 존재

하여 표층 수질에 영향을 주어 수역의 특성이 다르게 나타난 것으로 보여진다. 좀 특이한 것은 저층에서 정점 1, 3에서 같은 모습을 보이는 것은 정점 1은 금강 하구언에서 방류된 담수의 영향을 받고, 정점 3은 경포천으로부터 유입되는 담수의 영향을 받는 공통점이 있기 때문으로 사료된다(Fig. 8c).

12월 동계조사에서는 전 수층이 한 수계의 특성을 나타냈다(Fig. 8d).

적 요

금강 하구언의 건설 이후 환경변화를 모니터링하기 위해 계절별로 4회(2010년 4월, 7월, 10월, 12월) 금강하

구역의 9개 정점에서 이화학적 특성과 함께 식물플랑크톤 군집을 조사하였다.

금강하구기수역의 이화학적 특성은 금강 하구언이 건설된 이후에 조석 흐름이 변화되어 해수 유입이 약해지므로 금강이나 경포천을 통해 유입되는 담수에 의해 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 영양염의 경우 금강 하구언 건설 이후 갑문이 폐쇄된 이후 최대조류의 크기가 감소하고 부분 순환형으로 바뀌면서 군산과 장항과 같은 주변 도시의 도시 유출수와 경포천에서 유입되는 생활하수 그리고 금강하구언에서 유입되는 주기적 담수에 포함된 영양염이 기수역 내부에 축적되는 경향을 보여 그 농도가 이전보다 높아진 것으로 여겨진다. 따라서 식물플랑크톤의 성장에 영향을 주어 부영양화될 수 있는 가능성이 커지는 것으로 여겨진다.

식물플랑크톤의 종조성은 총 233종류가 출현하여 이전 연구결과에 비해 큰 폭으로 증가하였는데 해양종과 기수종 그리고 주기적 담수 방류에 의해 유입된 담수종이 혼재하는 현상으로 인해 출현종의 수가 증가한 것으로 사료된다. 출현종 중에 가장 중요한 종군은 규조류로 72%의 높은 점유율을 보였다. 담수종인 녹조류가 규조류 다음으로 많이 출현하였고 해양에서 중요한 분류군인 와편모류는 녹조류보다 적었다. 해양종인 와편모류보다 담수종인 녹조류가 더 많은 종이 출현하는 것은 주기적인 담수의 방류와 경포천 등에서 유입되는 담수에 포함된 담수종들이 금강 하구역의 식물플랑크톤 종 조성에 영향을 주기 때문으로 사료된다.

식물플랑크톤 현존량은 $143 \text{ cells mL}^{-1} \sim 12,016 \text{ cells mL}^{-1}$ 의 범위로 평균 현존량은 $2,010 \text{ cells mL}^{-1}$ 이었다. 식물플랑크톤 현존량은 하구언 건설 이전에 비해 상당히 증가한 것으로 금강하구 기수역이 부영양화되었음을 시사하고 있다. 봄철과 겨울철에는 기수역 규조류들이 우점하였으나 여름과 가을에는 담수종들이 우점종으로 나타나 비정기적 담수의 방류의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

종다양성지수는 동계를 제외하고는 2.0 이상으로 나타났다. 종풍부도는 저층에서 더 다양한 종이 출현하고 있음을 잘 나타내고 있다. 가을철에는 금강 하구언으로부터 담수가 방류되어 담수종들이 추가되어 종풍부도를 키우고, 여름철에는 수온이 높아지면서 밀도가 큰 규조류들은 적어지고 작은 편모류가 증가하지만 종의 수는 많지 않아 담수의 영향을 받음에도 불구하고 다른 계절에 비해 종 풍부도는 낮았다. 모든 계절에 저층에서 종 풍부도가 높게 나타나는 것은 표층에 비해 염분 쇄기에 의해 해양종, 기수종 및 담수종이 혼재될 가능성이 크고

조류의 영향으로 저층 퇴적물이 재부유될 때 저생성 규조류가 더해지기 때문이다.

집괴분석 결과 금강하구역은 군산 등 도시에서 나오는 생활하수와 경포천을 통해 유입되는 담수 그리고 금강하구언으로부터의 주기적인 담수의 방류에 의해 영향을 받는 것으로 보여진다.

사 사

본 연구는 2010년도 서천군의 연구비 지원을 받아 “하구의 퇴적층 특성과 변화양상 및 수질환경 연구”의 일환으로 수행되었으며 연구책임자이신 전승수 교수님에게 감사를 드립니다. 부족한 논문을 좀 더 나은 방향으로 수정할 수 있게 도움을 주신 세 분의 심사위원에게도 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Cho, J.H. and M.S. Seoh. 1988. Annual variation characteristics of suspended solid in the Keum river estuary. *Journal of Korean Earth Science Society* 9: 143-162.
- Choi, J.K. 1985. The Ecological Study of Phytoplankton in Kyunggi Bay, Korea. Ph D. thesis. Seoul National University. 320 pp.
- Choi, J.K., Y.S. Kang and J.H. Noh. 2003a. The characteristics of phytoplankton distribution in the Yellow Sea coastal waters. *In: Biological Oceanography in Korean - The plankton ecology of Korean Coastal waters-* (Choi, J.K. ed.). Donghwa Pub. 51-67.
- Choi, J.K., Y.S. Kang, J.H. Noh and J.H. Shim. 2003b. The characteristics of phytoplankton distribution in the East Sea coastal waters. *In: Biological Oceanography in Korean - The plankton ecology of Korean Coastal waters-* (Choi, J.K. ed.) Donghwa Pub. 58-85.
- Choi, J.Y., H.Y. Choi and M.S. Seoh. 1995. Physical and sedimentological changes in the Keum estuary after the gate-close of Keum river weir. *Journal of the Korean Society of Oceanography* 30: 262-270.
- Hellawell, J.M. 1986. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier Applied Science Publishers, 546 p.
- Jeong, Y.H., O.M. Lee and K.H. Noh. 1985. Annual (1984-1985) dynamic of phytoplankton in Kūm river estuary. *Bulletin of the Korean Association for Conservation of Nature ser.* 7: 17-25.
- Jeong, Y.H., Y.T. Kim, Y.J. Chae, C.W. Rhee, K.R. Ko, S.Y. Kim, J.Y. Jeong and J.S. Yang. 2005. Analysis of long-

- term monitoring data from the Geum river estuary. 「*The sea*」 *Journal of the Korean Society of Oceanography* **10**: 139-144.
- Kim, H.S., Y.G. Kim, J.S. Yang and W.H. Yih. 2004. Comparative population dynamics of photolithothetic ciliate *Mesodinium rubrum* (= *Myrionecta rubra*) in Gomso bay and Geum river estuary, Korea. 「*The sea*」 *Journal of the Korean Society of Oceanography* **4**: 164-172.
- Kim, J.G. 1998. Evaluation of water quality in the Keum river estuary by multivariate analysis. *Journal of the Environmental Science Society* **7**: 591-598.
- Kim, J.G. and H. Kang. 2002. The effect of tidal cycle and river runoff on the dynamic of nutrients in Keum river. *Journal of the Environmental Science Society* **11**: 519-528.
- Kim, K.Y. and J.H. Ki. 1987a. Studies on chemical and Biological processes in the Keum river estuary, Korea I. The cycle of dissolved inorganic nitrogen: General considerations. *Journal of the Oceanological Society Korea* **22**: 191-206.
- Kim, K.Y. and J.H. Ki. 1987b. Studies on chemical and Biological processes in the Keum river estuary, Korea II. Factors controlling chlorophyll-a distribution. *Journal of the Oceanological Society Korea* **22**: 207-215
- Kim, T.I., B.H. Choi and S.W. Lee. 2006. Hydrodynamics and sedimentation induced by large-scale coastal developments in the Keum river estuary, Korea. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **68**: 515-528.
- Lee, S.H., H.K. Kwon, H.Y. Choi, J.S. Yang and J.Y. Choi. 1999. Physical environment changes in the Keum river estuary by the dyke gate operation II. Salinity structure and estuary type. 「*The sea*」 *Journal of the Korean Society of Oceanography* **4**: 225-265.
- Lee, S.K. and S.M. Boo. 2000. Standing crops of freshwater phytoplankton in Keumgang river, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **18**: 347-353.
- Lee, Y.H. and J.S. Yang. 1997. 500-days continuous observation of nutrients, chlorophyll, suspended solid and salinity in the Keum estuary, Korea. 「*The sea*」 *Journal of the Korean Society of Oceanography* **2**: 1-7.
- MOE. 2004. Standard methods for the examination of water and wastewater. MOE bulletin 2004-188. 355pp.
- Park, S.Y., H.C. Kim, P.J. Kim, G.S. Park and J.S. Park. 2007. Long-term variation and characteristics of water quality in the Asan coastal areas of Yellow Sea, Korea. *Journal of the Environment Sciences* **16**: 1411-1424.
- Park, S.Y., O.I. Choi, J.N. Kwon, K.A. Jeon, H.C. Kim, P.J. Kim and J.S. Park. 2009. Long-term variation and characteristics of water quality in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea, Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety* **15**: 297-313.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* **13**: 131-144.
- Roelofs, A.K. 1984. Distributional patterns and variation of valve diameter of *Paralia sulcata* in surface sediments of southern British Columbia Inlets. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences* **18**: 165-176.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press. Urbana. 177pp.
- Shim, J.H. and J.K. Choi. 1978. Structure and functional changes in planktonic algal communities of the Han river. *Journal of the Oceanological Society Korea* **17**(2): 31-41.
- Shim, J.H. and J.S. Yang. 1982. The community structure and distribution of phytoplankton of the Keum river estuary. *Journal of the Oceanological Society Korea* **17**: 1-11.
- Shim, J.H. and S.J. Yoo. 1985. Phytoplankton community of the coast of Kunsan, Korea. *Journal of the Oceanological Society Korea* **20**: 31-42.
- Shim, J.H., Y.K. Shin and W.H. Lee. 1991. Environmental properties and phytoplankton community of the lower Manbyeong river. *Korean Journal of Limnological Society* **24**: 45-54.
- Shimpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 888.
- Shin, Y.K., J.Y. Shim and H.G. Yeo. 1997. The effects of environmental characteristics on the distribution and productivity of plankton in the Chonsu Bay, Korea. *Journal of Environmental Science* **3**: 34-47.
- Suthers, I.M. and D. Rissik. 2009. Plankton: A Guide to Their Ecology and Monitoring for Water Quality. CSIRO Publishing. 272pp.
- Takano, H. 1995. *Asterionella formosa*, p. 241-242. In: Illustrations of the Japanese environmental microorganisms (Kojima, S., R. Sudo and M. Chihara eds.). Kodansa, Tokyo.
- Wetzel, R.G. 2008. Limnology. Lake and River Ecosystems 3rd Edition. Academic Press. 1006 pp.
- Williams, P.J. le B., D.N. Thomas and C.S. Reynolds. 2002. Phytoplankton Productivity: Carbon Assimilation in Marine and Freshwater Ecosystems. Blackwell Science. 386 pp.
- Yang, J.S., J.Y. Jeong, J.Y. Heo, S.H. Lee and J.Y. Choi. 1999. Chemical mass balance of materials in the Keum river estuary I. Seasonal distribution of nutrients. 「*The sea*」 *Journal of the Korean Society of Oceanography* **4**: 71-79.
- Yang, J.S., K.H. Kim and Y.T. Kim. 2003. Distribution of nitrogen components in seawater overlying the Gomso tidal flat. 「*The sea*」 *Journal of the Korean Society of Oceanography* **8**: 251-261.
- Yeo, H.G. and H. Kang. 1998. Water quality and phytoplankton community in the coastal waters of Incheon. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society* **7**: 321-326.
- Yih, W.H., G.O. Myung, Y.D. Yoo, Y.G. Kim and H.J. Jeong. 2005. Semiweekly variation of spring phytoplankton community in relation to the freshwater discharges from Keum river estuarine weir, Korea. 「*The sea*」 *Journal of the Korean Society of Oceanography* **10**: 154-163.